

数学教職課程用講義一実践編

数学科における情報科教職課程教育について

藤田昌大¹、飯田正敏¹、花岡陽平²、安田英典¹

¹ 城西大学理学部数学科

² 城西大学理学部数学科非常勤講師

1. はじめに

コンピュータ科学の草創期においては、チューリング、フォン・ノイマンあるいはウィーナーなどの数学者が大きな貢献をおこなったが、半世紀たった現在でもコンピュータ科学の中では AI、ネットワーク関係をはじめ応用分野のシミュレーション科学などにおいて数学の寄与するところは大きい[1-4]。このことから、高等学校における情報教育においても数学教員が大きな役割を担うことが期待される。しかしながら、高等学校の情報教育の場ではこの期待が実現しているとは言い難い状況であると思われる。

その理由の一つは、数学科学生にとって情報科教職職員免許課程は負担の大きいことが挙げられる。情報の高等学校教諭一種免許状を取得するためには 36 単位の情報系科目が必要となる。情報科教職職員免許が取得できる学科は首都圏では約 200 学科あるが、このうち数学科（広義の数学科を含む）は 1 割程度にとどまっている。

次の問題点として、数学科の情報教育が時代の変遷にうまく対応できていないことも挙げられる。情報科教育の目標の一つに digital divide の克服が挙げられるが、digital divide のハードルは時代とともに変わっていつている。スマホなど IT 機器は、WEB 閲覧などについては家電品と同じ操作性まで進歩しており、digital divide のハードルも、かつてのサクサクと PC を使うといういわゆる IT Frequency のレベルから、近年のスクリプト言語の発展によりユーザもプログラミングに参加するというレベルに上がってきている。情報工学科などと異なり数学科の教育ではプログラミングが重視されてこなかったため、この時代の要請にうまく対応できているとは言い難い状況にある。

また、数学科を志望する学生は、多数の情報系学科がある中で数学科を選択した学生である。情報系科目、特にプログラミングに熱中する学生もいるのは事実であるが、学生の多くは（数学とは別のものである）情報には向いていないと思っているようである。この一因には、高等学校の情報教育の問題が存在していると思われるが、鶏が先か卵が先ということになる。ハードウェアを含んだコンピュータ科学は数学とは別の学問であるが、数学とコンピュータ科学がクロスする豊饒な領域が存在するのも事実であり、また、数学の研究にもコンピュータ科学の成果が活用されている時代になっているもの事実である。

本稿ではこのような状況のもとで大学の数学科における情報科教育職員の養成に関する課

題について検討を行う。

2. 情報科目と数学科目の GPA の分布

本学において、情報科教職職員免許を取得するためには、1, 2 年次において計算機入門 I、プログラミング I、数式処理による統計の 3 科目の単位が必要である。この 3 科目と履修全科目について本年度の 4 年生の GPA の状況を Fig.1 に、GPA 間の相関を Fig. 2 に示す。GPA は成績 S(100-90 点)、A(89-80 点)、B(79-70 点)、C(69-60 点)、不可にそれぞれ 4、3、2、1、0 点を割り振り、科目数で平均したものである。

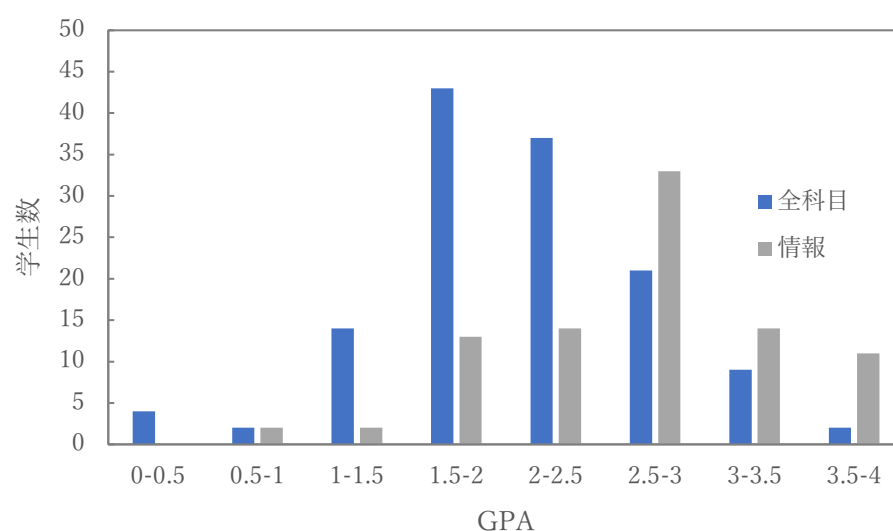


Fig. 1 SM14 期生（数学科 4 年生）の GPA 分布. 履修した全科目の GPA と免許情報の 1, 2 年次配当必修科目を示す。なお、データには留年、退学者も含まれている。

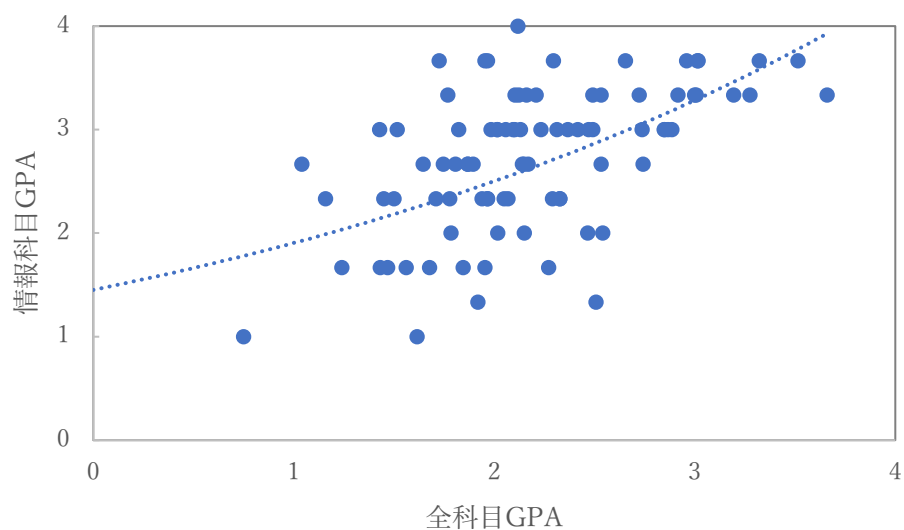


Fig. 2 履修全科目と1，2年次配当の必修情報系科目の相関. なお、情報系科目を履修していない学生は含まれていない。

全科目よりも情報系科目の成績分布が上位にシフトしているが、一般に、情報系科目は計算機実習が中心で課題演習によって評価されるので、ある程度まではよい成績をとることが多いと思われる。全科目の GPA と情報系科目の GPA の間にあまり相関がみられない。履修科目の大部分は代数、幾何、解析などの数学の科目であるので、数学の成績と情報の成績にはあまり相関がないということが言える。このところは、対象を教員志望に限った Fig. 3、Fig. 4 においても同様である。

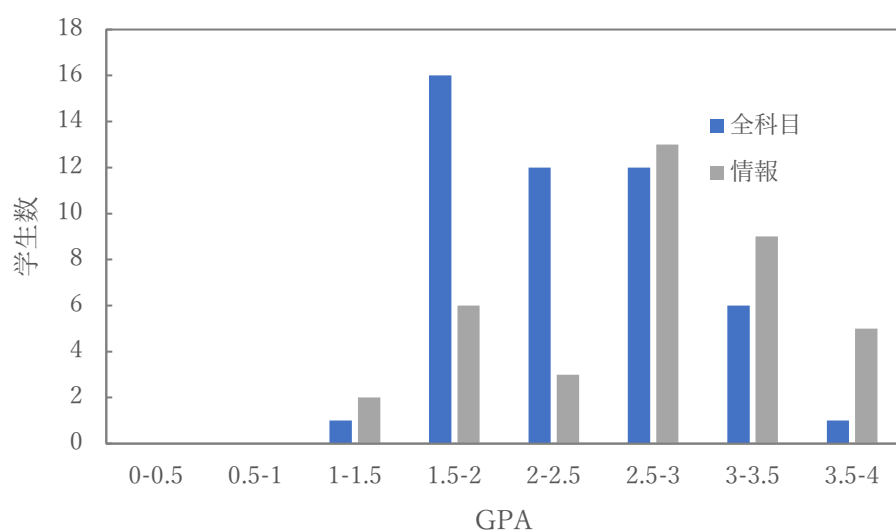


Fig. 3 教員志望学生の GPA 分布

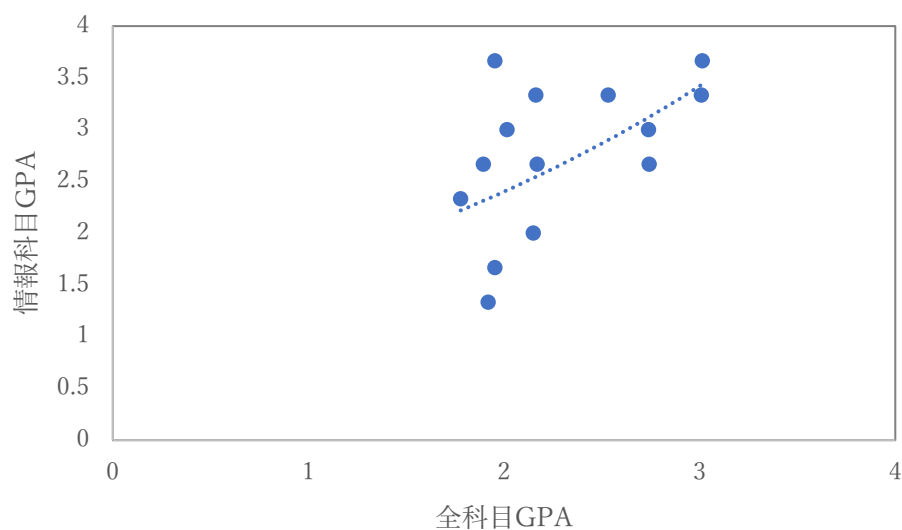


Fig. 4 教員志望の履修全科目と1, 2年次配当の必修情報科目の相関. 情報系科目を履修していない学生は含まれていない.

以上のグラフでは、データ点が近似曲線のまわりから離れたものが多く、数学科の教育において、情報教育が数学教育とうまく関係づけられていないという問題が存在することが示唆されている。

なお、本学数学科は2013年度から埼玉県坂戸市と都内紀尾井町の2校地においてキャンパスごとに定員を定めるキャンパス指定制を引いている。坂戸キャンパスでは数学・数学教育、紀尾井町キャンパスでは応用数学を志向しているという違いがある。ただし、1, 2年生レベルでは微分積分学、線型代数学など大部分の講義内容は同じであり、学生の意識の違いも大きくないと思われる。情報科目のGPAについてキャンパス間の比較をFig. 4に示す。

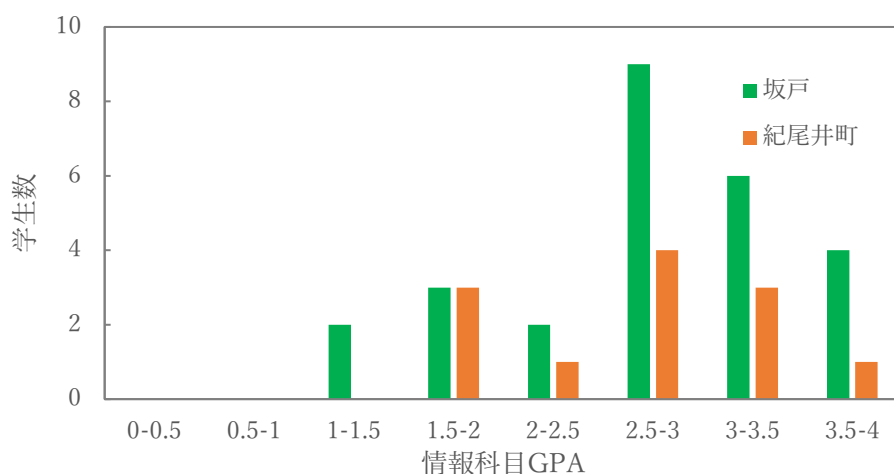


Fig. 4 情報科目 GPA のキャンパス比較

各キャンパスの総学生数の違いを反映した人数差はあるものの、むしろ、両キャンパス共に GPA2.5 で 2 つのグループに分離されていることが分かる。

3. 情報教職科目における数学分野への学生意識

情報科教員免許を取得するために「情報科教材研究」という科目を履修する必要がある。この科目では高等学校情報科科目「情報の科学」、「社会と情報」の教科書を利用して学生による模擬授業を実施している。実教出版が発行している高等学校教科書「最新 情報の科学」では 1 章 2 節に「コンピュータでのデジタル表現」、「最新 社会と情報」では 2 章 2 節に「デジタル表現」という項目があり、高校生はどちらの科目を選択しても「デジタル表現」について学ぶことになっている。この項目では日常生活で使われている 10 進数に対し、コンピュータ内で利用されている 2 進数、16 進数について解説されており、「社会と情報」では基数変換のみを扱い、「情報の科学」ではそれに加えて 2 進数による演算や実数表現までを扱っている。2 進数については高等学校「数学 A」でも扱っているが、教科「数学」では、扱える桁数に上限があるコンピュータ内で利用される補数や実数表現は扱っていないため、教科「情報」での扱いの方が複雑になっている。

さて、このような状況で数学科の学生が 2 進数や 16 進数を模擬授業でどのように扱っているかを見てみる。

2015 年度（紀尾井町キャンパスにおける開講初年）においては

・「社会と情報」では 2 名が模擬授業でこの項目を担当した。基数変換を扱った学生は変換

アルゴリズムのみを解説し、特に10進数から2進数への基数変換アルゴリズム（商を2で割り続けて得られる余りの列を並べる）についてはなぜそのアルゴリズムで基数変換がなされるかの解説を行わなかった。

・「情報の科学」では2名が模擬授業でこの項目を担当した。補数についてなぜ負数の表現になるのかの解説がテキスト通りの通り一遍なもので、差を計算するためのアルゴリズムが強調される形となった。

2016 年度

・「社会と情報」では3名が模擬授業でこの項目を担当したがやはりアルゴリズムが正しい根拠までの解説は行われなかった。

・「情報の科学」では1名が模擬授業でこの項目を担当し、2通りの補数の求め方を紹介したが、その2通りが同値であることは説明しなかった。

10進数から2進数への基数変換アルゴリズムは「数学A」の教科書に書かれているが、東京書籍のものと数研出版のものの2冊を見比べると数研出版のものは説明が不十分に見受けられた。一方で2進数の桁数と表示できる数の最大値の関係は模擬授業でも場合の数の考え方をを用いて丁寧に説明されており、こちらは「数学A」の教科書でも「情報と社会」の教科書でも解説されている。

学生の1名については「数学の授業との差別化を考えた」とレポートに記していたが、逆に数学を専門とする自らの強みをスポイルする結果になっているとも言える。また、教科書に書いてあることを積極的に詳しく解説する態度に欠けているケースが多いことも分かる。

今後は数学の知識を生かして情報の教科書の内容を補完することで数学科出身の情報科教諭としての優位性を確立するという意識を学生にもたせることが本学の情報教員教育において重要になってくると考える。

4. 初年次教育のケーススタディ

情報科教員免許を取得するために、必修科目として「計算機入門Ⅰ」、選択科目として「計算機入門Ⅱ」という科目がある。これらの科目では2016年度は「Maple」、「LaTeX」、「SageMath」について、2017年度は「Maple」、「LaTeX」について実習を行っている。「Maple」「SageMath」は数式処理ソフトであり、今後数学を学んでいく助けになる。「LaTeX」は文書作成ソフトであり、教員になった際の資料作成などを助けてくれる。

さて、このような内容で数学科の学生がどのように授業に取り組んでいるのかを見てみる。

学生を次の3つのグループに分けてその成績を比較した。

- 1、情報でも数学でもいいので先生になりたいと考えている学生
- 2、数学のみで先生になりたいと考えている学生
- 3、教員以外の仕事を考えている学生

人数の比率は次のようになった。2016年度「計算機入門Ⅰ」の学生(67名)ではグループ1の学生が約28%(19名)、グループ2の学生が約54%(36名)、グループ3の学生が約18%(12名)。2016年度「計算機入門Ⅱ」の学生(54名)ではグループ1の学生が約17%(9名)、グループ2の学生が約61%(33名)、グループ3の学生が約22%(12名)。2017年度の「計算機入門Ⅰ」学生(62名)ではグループ1の学生が約10%(6名)、グループ2の学生が約71%(44名)、グループ3の学生が約19%(12名)。

以下において、年度ごとに検討を行う。まず2016年度「計算機入門Ⅰ」において

- ・課題提出時刻平均ではグループ3が一番早く、他のグループよりも約3分早かったが、課題の得点率ではグループ1がグループ3よりも11%高かった。

- ・「LaTeX」を扱った授業時間では、将来的に授業で使用するプリントが作れるようになりたいということで、教員志望のグループ1、グループ2のテストの得点率はグループ3より14%高かった。

次に2016年度「計算機入門Ⅱ」においては

- ・グループ3の中でもIT関係志望の学生は、内容がプログラミングにも通じることから積極的に取り組んでいて、3名が課題の得点率が90%を超えていた。

- ・グループ2の学生は情報系の科目ということで途中から課題への取り組みがおろそかになり、5名が課題の得点率が30%を下回っていた。

最後に2017年度「計算機入門Ⅰ」においては

- ・グループ1の学生の成績は両極端であり、テストの得点率が70%以上か、30%以下かに分かれていた。

- ・グループ2の学生は全体的に課題提出率もよく、得点も平均点を超えるものが多かった。

- ・グループ3の学生は他のグループに比べると課題の得点率が54%と低く、授業への関心が薄いように見られた。

しかしながら全体的に成績に大きな偏りはなく、入門的な授業内容なのでよく出来ていた。課題提出の速さは授業の理解度よりも、コンピュータの扱いの慣れや、タイピングの速さに依存していた。今後はコンピュータの扱いになれるよう、最初の1ヶ月くらいはタイピング練習や基本的なコンピュータの扱い方の勉強に当たった方がその後の学習効率が高まると考えられる。

5. 数学科におけるプログラミング教育

本稿のはじめに、digital divide のハードルがコンピュータのソフトウェアを使えるかどうかから、ソフトウェアを作れるかどうかへと変化しつつある現状に触れた。IoT (Internet of Things) に象徴されるように、コンピュータが世の中のあらゆるハードウェアに組み込まれていく近い将来、ソフトウェアを作る人、すなわちプログラミング能力をもつ技術者の需要はますます高まることが予想される。このため、初等教育の段階からプログラミング教育を導入することが世界的に注目されている[9]が、とりわけ、人材を産業界に直接供給する高等教育機関で、今やプログラミング教育は重要な教育課題の一つとなった。

高等教育機関におけるプログラミング教育はソフトウェア技術者を育てるという目的の下、これまで主に工学系の学部において実施されてきた。一方、プログラミングに必要な論理構成力は数学の命題を証明する能力と共通しているため、大学の数学科において効果的なプログラミング教育を行うことが可能である。また、数学科の学生にプログラミング教育を行うことで、将来の職業につながる分かりやすい目標を示すことができ、学習意欲を一層高めることができる。このように、大学数学科におけるプログラミング教育は学生に新しい目標を与え、産業界に新しい人材供給源を与えるだろう。

前節で述べた意義に鑑みて、本学数学科では 1 年次から以下のようにさまざまなプログラミング教育を実施している。

- ・ コンピュータ・リテラシー I (1 年次)
- ・ 計算機入門 I (1 年次)
- ・ 数式処理による統計 (2 年次)
- ・ プログラミング I (2 年次)
- ・ プログラミング II (3 年次)
- ・ 実用アルゴリズム論 (3 年次)

これらは必修科目ではないが、1, 2 年次の科目については例年全学生の 8 割程度が履修している。なお、対象とするプログラミング言語は VBA, JAVA, Python, FORTRAN, C などである。また、プログラミング実習を必須とする数学セミナー (4 年次) もある。

このようなプログラミング教育を受けた結果、2016 年度の数学科卒業生のうち、24%が ICT 業界に就職してプログラマーとして働いている。とくに応用数学の立場からプログラミング教育を行っている東京紀尾井町キャンパスでは、40%の卒業生がプログラマーを職業として選択した。

現在では高等学校卒業時まで基本的な ICT 教育を受けた大学生が増えてきた。これにより、大学において ICT 教育が導入しやすくなった一方、大学入学時に、すでにコンピュータに対して苦手意識をもつ学生が生まれてきた。これらの学生は ICT 関連の科目選択を避ける傾向があるため、ICT 教育を受けたことのない学生よりも、かえってプログラミング教育を実施することが困難である。数学科においてプログラミング教育を必修とすることには賛否があるだろうが、少なくとも食わず嫌いの学生は無くしたい。

大学入学までにコンピュータが嫌いになる理由の一つは、高等学校における情報科教育の影響であろう。高校生はスマートフォンなどの ICT 端末を使いこなしており、決してコンピュータ・リテラシーが低いわけではない。重要なことは、スマートフォンがコンピュータそのものであり、アプリがコンピュータのソフトウェアであることを高校生に教え、自分たちの生活に欠かせない魅力的な道具としてコンピュータを理解させることである。コンピュータの魅力を伝えるためには、主にビジネス用途のワードプロセッサや表計算アプリケーションの使い方を教えるだけでは心許ない。スマートフォンのアプリのようなソフトウェアを自分で作るプログラミングを、高等学校の情報科教育にも積極的に取り入れるべきである。したがって、大学数学科におけるプログラミング教育は ICT 業界への人材供給だけでなく、プログラミング能力をもった高等学校情報科教諭の育成にも重要な役割を果たすことになる。

6. 応用数学と情報教育

わが国の数学科は、明治この方、代数、幾何、解析のいわゆる純粋数学が中心で応用分野の教育は軽視されてきた。これを補うかのように、理論系の工学部の学科では相当程度までの数学の教育が行われており、工学部出身の数学者も多い。数学を純粋数学、応用数学に分けてしまうことは適切ではないと思われるが、数学それ自体を目的に研究する分野と数学を応用することによってある目的を達成しようとする分野に価値観に違いがあるのも事実である。

大学の数学科が純粋数学中心であり応用数学を軽視したことが、数学科の情報教育の問題の背景にあるので、数学科の情報教育を有効なものにするためには、応用数学教育の充実が必要であると考えられる。また、逆に、応用数学を深くに教育しようとするとかかなりの純粋数学が必要になってくることも分かる。たとえば、昨今、数学科の教育でもルベグ積分を省く場合もあるが、微分方程式の数値解析、特に、数値解の収束の判断では必須である。また、CG 分野では雲の流れや炎などの複雑な自然現象を表現するとき、物理シミュレーションと呼ばれる数値計算が用いられている。物理シミュレーションでは、物理数学、非線形偏微分方程式論、差分法あるいは有限要素法などの数値解析、大規模な計算を実行するための数値線形代数、また、可視化のためには計算幾何学が必要となる。これらの応用数学を理解するためには、代数、幾何、解析の深い知見が必要となってくる。確固たるの基盤ない応用

数学の教育は散漫なものになってしまう恐れがある。

応用数学とコンピュータ科学については、これらはコンピュータの草創期には緊密な関係にあったと考えられる[1]。さらには、コンピュータの発展によって生まれた応用数学の分野もある。常微分方程式の数値計算法はオイラーの時代から存在していたが、偏微分方程式の数値解析はコンピュータの発明以後成立した分野である。最近では、大規模な線型方程式の数値解法、固有値問題の数値計算法の発展により、数値線形代数という分野が成立してきた[10]。線形代数に現れる抽象的な概念が構成論的なアルゴリズムによって実現できるようになってきた。いずれ、初年次の線形代数の教育にも影響を与えるものと思われる。

7. まとめ

応用数学とコンピュータ科学のクロスする領域の知見は、数学科における情報教育に取り入れるべきものであるし、高等学校の教育にも反映すべきものと思われる。数学科の情報科教職職員免許課程教育においても、学生がコンピュータ科学に関連する応用数学について習熟するように配慮されていることが望まれる。

参考文献

- [1] H.H. ゴールドシュタイン, 計算機の歴史, 共立出版 (1979).
 - [2] W.アスプレイ, ノイマンとコンピュータの起源, 産業図書 (1995).
 - [3] F.コンウェイ J.シーゲルマン, 情報時代の見えないヒーロー (ノーバート・ウィーナー伝), 日経 BP 社 (2006).
 - [4] チューリングの大聖堂, G. ダイソン, 早川書房 (2013).
 - [5] 最新 情報の科学, 実教出版(2013).
 - [6] 最新 社会と情報, 実教出版(2013).
 - [7] 数学 A, 東京書籍(2016)
 - [8] 数学 A, 数研出版(2016)
 - [9] 文部科学省平成 26 年度・情報教育指導力向上支援事業, 諸外国におけるプログラミング教育に関する調査研究報告書, 大日本印刷 (2015) .
 - [10] たとえば, L.M. Trefethen and D. Bau, Numerical linear algebra, SIAM (1997).
- 和書では、杉原正顕, 室田一雄, 線型計算の数理, 岩波書店 (2009).